

## L'origine de l'Univers

Hubert Reeves

Volume 2, numéro 2, printemps 1992

Philosophie et sciences : du concept au réel

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/800893ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/800893ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Collège Édouard-Montpetit

ISSN

1181-9227 (imprimé)

1920-2954 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Reeves, H. (1992). L'origine de l'Univers. *Horizons philosophiques*, 2(2), 1–26.  
<https://doi.org/10.7202/800893ar>

## **L'origine de l'Univers\***

Notre relation au cosmos est peut-être la découverte la plus importante de l'astronomie du XX<sup>e</sup> siècle. Nous sommes reliés de près au cosmos et, d'une certaine façon, nous sommes engendrés par lui. Le thème développé ici, c'est la nouvelle alliance entre l'être humain et le cosmos, qui émerge des connaissances scientifiques accumulées dans le dernier siècle, en particulier depuis une trentaine d'années. Ce qui a changé fondamentalement, c'est notre façon de voir le cosmos. Les scientifiques et les philosophes ont vécu plus de deux mille cinq cents ans dans l'idée que l'Univers est éternel et inchangeant, que l'Univers a toujours existé, qu'il existera toujours, qu'il EST, comme on dit en termes scientifiques, statique, c'est-à-dire qu'il ne change pas, qu'il ne se transforme pas. Cette idée était défendue par les Grecs; déjà, Aristote s'exprime très

\* Nous tenons à remercier Jacques-Serge Neveu qui a accepté de piloter le projet de transcription de la conférence que M. Hubert Reeves a donnée à la salle Maurice O'Bready de l'Université de Sherbrooke, le 19 octobre 1991. C'est dans le cadre du XVI<sup>e</sup> congrès de l'Association des groupes d'astronomie amateurs que M. Reeves a aimablement accepté de prendre la parole. Nous tenons à remercier M. Ghislain Chagnon, vice-président de l'A.G.A.A., qui a réalisé le document magnétoscopique inédit sans lequel il eut été impossible de présenter ce texte. Merci également à Elaine Nadon, qui a gracieusement offert son temps pour dactylographier le premier jet. C'est Jacques-Serge Neveu qui a procédé à la nécessaire adaptation du langage parlé en prose écrite.

clairement là-dessus. Et cette idée va rester sous-jacente à toute la littérature scientifique et philosophique. Le moment où on a basculé, où on a changé complètement, c'est vers 1965, c'est donc très récent. Pendant toute cette période de la vie de la science, des gens comme Galilée, Newton, Laplace, Einstein, qui a été un des derniers résistants à cette idée, ont vécu dans l'idée que l'Univers est éternel et inchangeant.

L'élément fondamental qui a amené ce retour d'opinion a eu lieu en 1965, et il a une très grande importance. Non seulement sur le plan scientifique, mais bien au-delà de ce plan, parce que ce changement va influencer toute la pensée humaine, pas seulement la pensée scientifique et la pensée philosophique, mais même notre façon de voir le monde. Ce qui est intéressant dans les découvertes de l'astronomie, c'est qu'elles influencent périodiquement tout le rapport de l'être humain au cosmos. Nous en avons plusieurs exemples. Ce qui s'est passé entre 1550 et 1610, c'est-à-dire la période de Copernic, de Galilée : un changement qui a ébranlé toute une conception de la vie humaine. C'est le moment où l'on découvre, où l'on a les preuves convaincantes, que la Terre n'est pas le centre du monde, qu'elle n'est qu'un astre ordinaire, une planète banale qui tourne autour d'une étoile banale. On avait vécu pendant des milliers d'années dans l'idée naïve, normale, que la Terre est le centre du monde et que le ciel tourne autour d'elle et, en quelques décennies, on change complètement et on arrive à l'idée que la Terre est un astre.

Vers 1604, Galilée pointe son tout petit télescope pour regarder la Lune et il voit que *la Lune a des montagnes*. Il se dit : «La Lune a des montagnes», et il en conclut : «La Lune et la Terre sont des objets semblables.» La Lune est un astre, la Terre est un astre. C'est un des moments les plus forts du développement de la pensée humaine; il a pris conscience de cela parce qu'il y avait cette ressemblance. Il avait toutes les raisons de penser, c'était déjà appuyé par Copernic et par bien d'autres observations, que

la Terre est un astre. La Terre qu'on pensait être ce socle immobile est, en fait, exactement comme Jupiter, Vénus et Mars. Cet événement important est tellement dérangent pour tous les penseurs de cette époque, les théologiens, les académiciens, les professeurs, que, quand Galilée invite ces gens à venir voir dans son télescope les montagnes sur la Lune, ils sont tellement troublés qu'ils ont cette délicieuse réponse : «Oui, mais est-ce qu'il faut croire à ce qu'on voit dans un télescope?» Vous voyez jusqu'à quel point on peut être choqué par une nouvelle idée, pour qu'on mette en doute ce qu'on voit dans un télescope. La révolution copernicienne, c'est ce fait qu'on soit passé de cette Terre centre du monde à une Terre astre petit, surtout que, à cette période, on a découvert la dimension extraordinaire de l'Univers.

### **Pourquoi l'Univers est-il si grand?**

Quand on admet que la Terre est un astre, que le ciel ne tourne pas autour d'elle, que c'est le mouvement de la Terre qui nous donne cette idée que le ciel tourne, on est amené à créditer une idée qui était considérée comme démentielle chez les Grecs. Anaxagore entre autres, avait cette idée que le Soleil est peut-être une étoile, et que les étoiles sont des soleils. Cette idée était donc déjà présente chez les Grecs. Si une étoile est un soleil, ça veut dire qu'elle est très loin. Imaginez à quelle distance il faudrait pousser le Soleil pour qu'il ne soit pas plus brillant que l'étoile polaire. Cela donne une telle dimension à l'Univers qu'on pensait être tout petit, que la plupart des gens disaient : «Non, ça n'a pas de sens, c'est certainement autre chose. Les étoiles sont des petites flammèches qui sont collées sur la voûte céleste.» Et l'idée que ça pouvait être des soleils situés à de très grandes distances était exclue comme étant démentielle, délirante.

Pourtant, quand Galilée et Copernic découvrent le mouvement de la Terre autour du Soleil, on est ramené à cette idée que les étoiles peuvent être des soleils, et on

découvre tout d'un coup l'extraordinaire dimension de l'Univers. À cette époque, on est loin de soupçonner tout ce volume qu'il y a dans l'espace. C'est un choc de découvrir que les étoiles ne sont pas juste au-dessus de nos têtes, qu'elles se situent suffisamment loin pour qu'une étoile puisse être un soleil. Aujourd'hui on mesure les espaces dans le ciel en termes d'années de lumière, ce qui fait de moins gros chiffres. Une année de lumière, c'est le trajet que franchit la lumière en un an, c'est environ dix mille milliards de kilomètres. Les étoiles sont à vingt-cinq, cinquante, cent, et jusqu'à mille années de lumière. Dans la constellation d'Orion par exemple, les étoiles sont environ à mille cinq cents années de lumière de distance. Cette découverte de la dimension de l'Univers aura un très profond impact sur la pensée, dès le XVII<sup>e</sup> siècle.

Vous connaissez la fameuse phrase de Pascal : «Le silence de ces espaces infinis m'effraie.» Pascal, c'est un petit peu après, vers 1640; il est à la fois un très bon scientifique qui est au courant de ces découvertes, mais c'est aussi un bon philosophe qui aime réfléchir sur l'impact des connaissances, et cette phrase indique précisément le choc qui s'est produit à cette période quand les gens se sont sentis sortir de leur cocon. L'Univers tout petit, confortable, dans lequel on avait vécu avec les étoiles pas loin, il éclate tout d'un coup et il devient un très grand vide. Pascal sent que ce vide lui est étranger. Il se passe des choses qui lui sont complètement étrangères et il se sent aliéné par cet espace. Ces découvertes ont influencé la pensée humaine d'une façon absolument fantastique et on aurait pu se poser à cette période une question toute naïve (très souvent, ce sont les questions naïves qui sont les plus profondes). On aurait pu dire : «Mais pourquoi l'Univers est-il si grand? À quoi ça sert d'avoir un Univers si grand?»

À cette période, voici l'Univers tel qu'on le voyait et tel qu'on en imaginait le rapport aux hommes; on pensait que l'Univers «se contentait» d'héberger les êtres humains,

de leur donner un lieu pour leur naissance, leur vie et leur mort. À quoi ça pouvait servir d'avoir un Univers tellement grand? Aujourd'hui nous ne parlons plus de milliers, mais de millions et de milliards d'années de lumière, avec des objets qui sont situés à des distances tellement grandes qu'on ne peut pas les voir; ça prend les télescopes les plus puissants pour les détecter. On aurait pu se dire : «Mais n'est-ce pas un luxe inutile par rapport aux êtres humains (si on prenait ce point de vue très anthropocentrique) d'avoir un Univers si grand?» Aujourd'hui, on a une réponse à cette question.

La réponse que l'astronomie moderne démontre, c'est que non seulement l'Univers héberge les êtres humains, mais il les engendre. Tous les atomes dont nous sommes formés ont été constitués dans le passé par des étoiles, par des galaxies, par des explosions d'étoiles, par des collisions de petites planètes et de météorites. Pour arriver à fabriquer tous ces atomes qui nous permettent de vivre, qui nous permettent de venir à une conférence d'astronomie, qui nous permettent d'avoir des neurones dans notre cerveau et de comprendre ce qui se passe, pour arriver à fabriquer tout cela, ça prend un Univers très grand. Comme réponse, on pourrait encore dire : pour fabriquer des atomes, ça prend des étoiles, pour fabriquer des étoiles, ça prend des galaxies et pour loger des galaxies, ça prend un Univers infiniment plus grand que celui auquel les hommes primitifs étaient habitués, ou celui que Pascal se voyait effrayé de voir si grand. C'est une première réponse.

### **Pourquoi la nuit est-elle noire?**

Une seconde question naïve à laquelle je vais essayer de répondre, c'est une des questions qui ont renversé cette idée, présente depuis deux mille cinq cents ans, qui voulait que l'Univers soit éternel et inchangeant. Pourquoi est-ce que ça pose un problème que l'Univers soit éternel et inchangeant? Kepler, justement au cours de cette période,

a fait un raisonnement très simple, et il a posé une question très simple. Supposons que ce soit vrai que l'Univers soit éternel et inchangeant. Supposons (on en avait la preuve à ce moment-là) que les étoiles soient réparties sur de très grandes distances. Supposons que les galaxies soient réparties dans l'espace à de très grandes distances dans un espace infini en volume. Kepler fait alors l'affirmation suivante : « Si c'est vrai, si l'Univers est éternel, s'il existe depuis toujours et s'il y a des étoiles réparties dans un volume de dimensions infinies, alors il ne devrait pas faire noir la nuit. » La nuit devrait être éblouissante de lumière, et le jour aussi. Et la simple question « Pourquoi la nuit est-elle noire? », posée pour la première fois par Kepler vers 1600 et qui va traîner dans toute la littérature scientifique, qui sera reprise par Halley vers 1700, par De Chéseaux, un astronome suisse, et un peu plus tard par Olbers en 1823, et personne pendant toute cette période ne pourra répondre à la question : « Pourquoi la nuit est-elle noire? » Pourquoi est-ce un problème que la nuit soit noire? La première réponse qui vient à l'esprit, c'est de dire : « Mais le jour, il y a le Soleil et il brille, et quand le Soleil est couché, c'est la nuit, et alors il fait noir.

— Oui, mais on a dit que le Soleil est une étoile, et qu'il y a d'autres étoiles, et que la nuit, elles brillent. Et la nuit, les étoiles sont très faibles, alors on voit très bien qu'il n'y a pas de comparaison entre le Soleil et les étoiles.

— Pourquoi sont-elles faibles?

— Parce qu'elles sont loin.

— Oui, elles sont loin, mais il y en a beaucoup. Il y a un Soleil, mais il y a beaucoup d'étoiles. Et Kepler, dans un petit raisonnement, arrive à la conclusion que le fait qu'il y a beaucoup d'étoiles devrait très exactement compenser la faiblesse de leur éclat, si l'Univers existe depuis toujours.»

Voilà comment Kepler pose le problème : imaginons qu'il y a des étoiles réparties uniformément dans l'espace. Vous regardez le ciel et votre œil découpe dans le ciel un

petit cône dans lequel arrive la lumière des étoiles qui sont dans ce cône. Vous vous rendez compte que, si on divise le ciel en sphères, avec des rayons de dix années lumières, ensuite de vingt années lumières, puis de trente années lumières, la lumière d'un certain nombres d'étoiles vous arrive de la première sphère, dans laquelle elles ne sont pas très nombreuses. De la deuxième sphère, il y en a plus, de la troisième section, encore plus et, si on continuait, il y en aurait toujours plus. Rappelez-vous vos cours de physique. Quand vous éloignez une source lumineuse, son éclat diminue avec l'inverse du carré de la distance. Donc plus une étoile est loin, plus elle est faible, en supposant qu'elles aient toutes la même brillance. Par contre, le nombre d'étoiles dans chaque segment augmente avec le carré de la distance, de sorte que l'effet affaiblissant de la distance est exactement compensé par le nombres d'étoiles qu'il y a dans ce cône, ce qui fait que chaque petit segment doit vous envoyer la même quantité de lumière. Et si ce cône se poursuit jusqu'à l'infini, vous recevrez un nombre infini de fois la même quantité de lumière, ce qui veut dire que la nuit doit être absolument éblouissante, et le jour aussi. Voilà le problème qui s'est posé et qui a traîné dans la littérature pendant trois ou quatre cents ans, sans que personne ne puisse y répondre.

La personne qui a trouvé la réponse à cette question, curieusement, ce n'est pas un scientifique, c'est un poète romancier américain. Dans une des nouvelles de ses *Histoires extraordinaires* (traduites par Charles Baudelaire), Edgar Allan Poe raconte quelque chose qui donne à peu près la bonne explication. Poe dit : «Nous savons que la lumière ne voyage pas à une vitesse infinie, nous savons que la lumière voyage à trois cent mille kilomètres à la seconde...», ce qui est très lent à l'échelle astronomique. De sorte que, quand vous regardez une partie du ciel, vous voyez un certain nombre d'étoiles. Ces étoiles-là, vous ne les voyez pas au même moment; celles qui sont les plus rapprochées, c'est-à-dire à dix années de lumière, vous les



voyez telles qu'elles étaient il y a dix ans. Celles qui sont un peu plus loin, telles qu'elles étaient il y a vingt ans, puis trente ans, etc. Vous avez une somme d'événements historiques devant vous et, plus vous regardez loin, plus vous voyez des étoiles qui ont émis leur lumière il y a longtemps. Si on met en doute l'affirmation que l'Univers est éternel, qu'il existe depuis toujours, si on dit que l'Univers n'existe pas depuis plus d'un certain temps, eh bien! forcément, les segments des cônes vont s'arrêter puisque, à un moment donné, vont arriver les étoiles les plus anciennes et, au-delà, il n'y en a pas, par définition. Au lieu d'avoir une somme infinie, vous aurez un nombre de segments finis et, au total, vous ne recevrez pas une quantité de lumière infinie. C'est ça, le raisonnement. Le fait que la nuit soit noire est une des preuves que l'Univers n'est pas éternel. Cette question, nous en connaissons maintenant la réponse grâce aux théories fondamentales de la cosmologie; nous savons que l'Univers n'est pas éternel, nous pouvons même donner son âge. Donc, la réponse à cette question très simple était : *La nuit est noire parce que l'Univers n'est pas éternel.*

Depuis le début de notre siècle, un certain nombre d'observations nous ont permis de changer notre optique et de passer de cette idée de l'Univers éternel et inchangeant à un Univers qui est extrêmement changeant. L'image que nous en avons aujourd'hui : un Univers qui était dans le passé extrêmement chaud, extrêmement dense, extrêmement lumineux et totalement désorganisé. Voilà quatre caractéristiques importantes du passé de l'Univers. La première indication importante après la réponse à la question : «Pourquoi la nuit est-elle noire?» nous vient d'un ensemble d'observations qui ont été faites dans les années 1920 à 1930. À cette période, on dispose de télescopes importants : ceux des monts Wilson et Palomar, aux États-Unis. Et on commence à étudier le mouvement des galaxies, à croire que les galaxies, qui sont en très grand nombre dans l'espace, ont des mouve-

ments. Et on est en mesure de calculer à la fois leur distance et leur vitesse. Quand les gens ont commencé ces observations, ils s'attendaient probablement à ce que les mouvements soient relativement aléatoires, que certaines galaxies s'approchent, que d'autres s'éloignent. C'est ce qui se passe quand vous êtes dans une foule, il y a des gens qui s'approchent, d'autres qui s'éloignent; c'est aussi vrai quand vous regardez les étoiles.

La découverte extraordinaire qui est faite à cette période, c'est que ce n'est pas du tout comme cela que ça se passe. Les galaxies ont un mouvement extrêmement curieux. D'abord, on s'aperçoit que toutes les galaxies s'éloignent de nous, sauf de très rares exceptions, et elles s'éloignent d'une façon très particulière. Elles s'éloignent d'autant plus vite qu'elles sont plus loin. Prenons deux galaxies, une galaxie à une distance 1; elle se déplace à cent kilomètres à la seconde. Une autre galaxie, deux fois plus loin, se déplace à deux cents kilomètres à la seconde, toujours en s'éloignant de nous, et une troisième, trois fois plus vite. C'est extrêmement curieux comme mouvement. Quand on regarde à deux dimensions, les galaxies sont ces points et chacune des galaxies s'éloigne et, toujours, celles qui sont plus loin s'éloignent plus vite. Si vous voulez une comparaison culinaire pour comprendre, imaginez ce qui se passe quand vous faites un pouding aux raisins. Vous mettez de la pâte et des raisins secs dans un plat, et vous mettez le tout au four. Et maintenant, par la pensée, mettez-vous sur un raisin et regardez vos collègues raisins; vous n'aurez aucune difficulté à comprendre que, si la pâte a été bien préparée, tous vos collègues s'éloignent de vous. Ils s'éloignent précisément dans ce mode, d'autant plus vite qu'ils sont plus loin. Sinon, vous aurez des commentaires désagréables quand vous servirez le pouding à la table. Et si ça vous donne l'idée que vous êtes le raisin au centre du pouding, mettez-vous sur un autre raisin et vous allez voir qu'il voit exactement la même chose.

Ce mouvement que Hubble, un astronome américain, a découvert dans les années 1920, 1930, c'est que les galaxies se comportent exactement comme les raisins dans un pouding aux raisins. En mathématiques, ça s'appelle une transformation homothétique. C'est un grand mot pour dire ce qui se passe dans les poudings aux raisins ou dans les galaxies. Et c'est quelque chose de tout à fait étonnant, auquel on a donné un nom que je ne trouve pas très approprié : l'expansion de l'Univers. Ce terme donne l'impression que l'Univers devient plus grand. Et en fait, bien qu'on n'ait pas de certitude à ce sujet, l'Univers est vraisemblablement infini en dimensions, et l'Univers, évidemment, ne peut pas devenir plus grand. Cela n'aurait pas de sens de dire que quelque chose d'infini devient plus grand. Un meilleur mot pour décrire ce mouvement : c'est une *dilution*. L'Univers est en train de se diluer, il devient de moins en moins dense. Si vous imaginez une grande sphère qui entoure un certain nombre de galaxies, vous comprendrez que, dans un certain temps, le nombre de galaxies dans la sphère va diminuer, parce qu'il y a toujours des galaxies qui passent la frontière. L'Univers devient de moins en moins dense. Nous sommes très loin de cet Univers statique. Nous sommes dans un Univers en dilution.

C'est un phénomène qui peut être étudié par les lois de la physique traditionnelle, et cela implique aussi que cet Univers se refroidit. Une comparaison qu'on peut faire avec les gaz, par exemple : vous savez que, si on comprime un gaz, il se réchauffe et quand on le détend, il se refroidit. C'est le principe des réfrigérateurs, des pistons dans les voitures. Pour l'ensemble des galaxies c'est la même chose; si l'Univers se dilue, l'Univers se refroidit. Voilà donc la découverte qu'a faite Hubble. Cela a donné l'idée à d'autres astrophysiciens que, dans le passé, l'Univers était plus chaud, plus dense. Ils se sont dit : «On va explorer le passé de l'Univers, on va partir en exploration en utilisant à la fois les théories de la physique et les observations pour

essayer de comprendre ce qu'était le passé de l'Univers.» C'est à peu près le travail que font aujourd'hui les physiciens et les astrophysiciens. Nous sommes devenus, d'une certaine façon, des historiens de l'Univers. Les historiens tentent de reconstituer, par exemple, la civilisation du Neandertal et l'homme de Cromagnon; ils explorent, essaient d'expliquer comment vivaient les êtres humains il y a dix-neuf mille ans autour de la grotte de Lascaux, ou il y a quarante mille ans, les hommes du Neandertal.

La méthode traditionnelle pour étudier le passé, c'est de trouver des fossiles. L'homme du Neandertal et celui de la grotte de Lascaux sont disparus aujourd'hui, mais ils ont laissé des fossiles, comme du silex, des pierres taillées avec des modes très particuliers. Le travail de l'historien et du préhistorien consiste à aller sur les lieux où ces gens vivaient. Ils trouvent des pierres taillées, des bois de rennes sculptés, quelquefois des peintures, comme à Lascaux ou à Font-de-Gaume, et aussi de la suie sur les murailles. À partir de ces quelques éléments, presque rien, en identifiant d'abord ces éléments, des fossiles, et en essayant de les interpréter correctement, nous serons en mesure de reconstituer, parfois avec beaucoup d'imagination, comment vivait ou travaillait l'homme du Neandertal, ou quelquefois des êtres humains beaucoup plus anciens. Un fossile, c'est par définition quelque chose qui a été fabriqué à un moment donné, et qui est resté intact, qui a été préservé. Il est parvenu jusqu'à nous et nous pouvons l'étudier. Maintenant, nous savons que ces gens étaient extrêmement habiles; on a aujourd'hui retrouvé l'art de tailler le silex de l'homme du Neandertal et on comprend exactement quels coups il fallait donner avec une autre pierre pour faire partir des éclats pour faire des lames très tranchantes.

L'astrophysicien, quand il veut étudier le passé, doit utiliser les mêmes techniques; il doit trouver des fossiles. Si vous voulez qu'on vous croit quand vous affirmez quelque chose concernant le passé de l'Univers, il faut que

vous en apportiez la preuve; c'est comme en cour de justice, il faut des pièces à conviction : je peux fonder ce que je dis sur des fossiles. Les fossiles astronomiques ne sont évidemment pas de la même nature que ceux des préhistoriens, il ne s'agit pas de silex mais d'éléments de rayonnement, parfois d'éléments chimiques dont on peut montrer qu'ils ont pris leur forme actuelle il y a très longtemps, que cette forme s'est préservée, que nous la retrouvons aujourd'hui : nous l'identifions, nous essayons de l'analyser et nous arrivons à dire des choses crédibles sur ce qu'était le passé très ancien de l'Univers. Si le travail des astrophysiciens ressemble beaucoup au travail des préhistoriens, il ressemble aussi à celui des explorateurs.

## Exploration vers le passé

Il y a une façon d'aborder la théorie du *big bang* qui est très populaire et qui est très mauvaise à mon avis, contre laquelle je voudrais vous mettre en garde. On ne peut pas commencer une conférence sur le *big bang* en disant : «L'Univers a été créé il y a quinze milliards d'années dans une grande explosion, c'était la création, c'était le début.» C'est une très mauvaise façon de présenter ce que nous savons sur le passé de l'Univers; c'est une sorte de confusion avec la mythologie. On trouve ça dans la Genèse, on retrouve ça chez les Grecs et les Indiens d'Amérique du Nord sur la Côte Ouest, qui ont des histoires saintes qui commencent comme ça : «L'Univers au début était comme ceci, comme cela...» Ça va pour la littérature mythologique qui ne demande pas à être critiquée mais, pour une littérature scientifique, ça ne va pas du tout. Je voudrais vous présenter le *big bang* d'une façon totalement différente; vous ne serez pas tenté après coup de vous poser la question classique : «Mais qu'est-ce qu'il y avait avant?» La façon d'aborder la théorie du *big bang*, ce n'est pas de dire que l'Univers a été créé il y a quelques milliards d'années, on n'en sait absolument rien. Partons plutôt en exploration vers le passé.

Grâce à Hubble, nous savons que le passé était différent. Nous avons comme modèle ce que faisaient les explorateurs des siècles passés, aux dix-huitième, dix-neuvième siècles, quand il y avait encore des continents vierges : l'Australie, l'Afrique, Bornéo. Maintenant, on a exploré toute la planète. On va explorer Vénus et Mars, mais notre planète est terminée depuis le début du siècle avec le Pôle Nord et le Pôle Sud. Pendant deux siècles, un travail d'exploration de tous les territoires de la planète a eu lieu; nous en avons des livres qui racontent comment se sont faites les explorations de l'Australie, par exemple. Dans ces livres, il y a souvent des cartes, assez naïves. Prenons l'exemple d'une île qu'on est en train d'explorer. Comment se faisait l'exploration? D'abord, les explorateurs arrivaient en bateaux, s'approchaient du rivage et l'exploration se faisait du rivage vers l'intérieur. D'année en année, ces gens, grâce aux cours d'eau, grâce à des excursions à pied, très pénibles (souvent ils finissaient dans les chaudrons des cannibales), leur mission c'était d'envoyer, à l'Académie des Sciences qui payait leur voyage et à leurs parents, des cartes dans lesquelles ils indiquaient ce qu'ils avaient trouvé chaque année. À la fin d'une année d'exploration, ils avaient trouvé une forêt, des peuplades mystérieuses aux mœurs étranges, des montagnes; mais la chose la plus importante dans ces cartes, c'est qu'il y a toujours une région blanche sur laquelle il était de tradition d'écrire en très jolies lettres *Terra incognita* (Terre inconnue), ce que nous n'avons pas encore exploré. Évidemment, au cours des années, cette surface s'amenuisait à mesure que l'île était progressivement explorée. C'est ça la bonne comparaison avec l'astrophysique et le *big bang*.

Les explorateurs partent du rivage, s'en vont vers l'intérieur et progressent d'année en année. Nous partons d'aujourd'hui. La chose dont nous sommes certains, que nous connaissons, c'est l'état de l'Univers aujourd'hui. Nous reculons vers le passé, comme les explorateurs avançaient vers leur Terre. Chaque année, nous faisons

des progrès. Disons chaque dix ans, pour être modeste. Mais il y a pour nous, comme pour les explorateurs, une région au-delà de laquelle nous ne sommes pas encore allés, c'est notre *Terra incognita*. Le *big bang*, c'est ça. Nous avons découvert une bonne partie du passé, nous pouvons reculer de quinze milliards d'années, nous découvrirons un Univers extrêmement chaud, extrêmement dense et extrêmement lumineux. Mais au-delà de cela, comme si quelqu'un avait demandé à un de ces explorateurs : «Qu'est-ce qu'il y a là?» Il aurait répondu : «Mais attendez, nous n'y sommes pas encore, nous y serons plus tard.» La question «Qu'est-ce qu'il y avait avant?», ça revient à demander : «Qu'est-ce qu'il y a au-delà de ce que nous connaissons aujourd'hui?» La réponse : «Nous ne le savons pas.» Nous en saurons plus long sans doute dans dix ans. Nous en savions moins long il y a dix ans.

La science, c'est un processus en évolution. Nous reculons de plus en plus dans le passé, nous en apprenons de plus en plus, nous savons des choses que nous ne savions pas, et il nous reste évidemment énormément de choses à explorer et à découvrir. L'Univers n'est pas statique, mais il est en changement, en transformation, puisqu'il se refroidit et qu'il se dilue. Ce qui a donné l'idée à un astrophysicien d'origine russe, Georges Gamov, de faire le raisonnement suivant, vers 1945 : «Supposons que ce soit vrai que l'Univers a été plus chaud dans le passé, ça veut dire que l'Univers a déjà été très chaud.» Or, il y a une loi de la physique qui dit que plus la matière est chaude, plus elle brille, et plus elle émet de la lumière. Très souvent, elle ne peut pas être perçue par nos yeux. Par exemple, dans l'obscurité, chacun d'entre nous serait une source de rayonnement infrarouge tout à fait visible avec un appareil-photo infrarouge, mais que notre œil ne peut pas percevoir. Quand vous montez la température à mille degrés, deux mille degrés, ça donne ce que vous avez tous vu : de la lave qui sort d'un volcan ou du métal en fusion. C'est rouge. Et si vous chauffez encore plus, ça

devient orange, puis jaune; ça remonte l'arc-en-ciel, et Gamov s'est dit : «Si l'Univers était chaud, il devait être très lumineux. Si on remonte suffisamment loin dans le passé, l'Univers devait être plein de rayonnement absolument fantastique.»

Qu'est devenu ce rayonnement, qui existait à cette période et qui remplissait tout l'Univers? Il a fait quelques calculs, il a montré que ce rayonnement doit exister encore. Il doit être encore présent dans tout l'Univers, sauf que nous ne sommes pas en mesure de le détecter, parce que nos yeux ne détectent qu'une toute petite partie des rayonnements. Il a calculé qu'il devait s'agir d'un rayonnement de type radio, comme ceux qu'on utilise pour la radio, ou plus exactement pour les radars, pour les fours à micro-ondes, pour la télévision. Un rayonnement millimétrique. Une longueur d'onde d'environ un millimètre. Si c'est vrai que l'Univers est très chaud, très dense, très lumineux, alors il doit en rester un fossile, et ce fossile doit être un rayonnement millimétrique qui emplit l'Univers encore aujourd'hui. En 1948, personne ne l'a pris au sérieux. Vous voyez qu'il y a toujours de la résistance aux idées nouvelles. Cela faisait deux mille cinq cents ans qu'on vivait dans l'idée que l'Univers était éternel et inchangeant, et tout à coup quelqu'un raconte que non seulement il est changeant et qu'il a été très chaud, mais aussi qu'il y a encore des traces de son passé.

Il a fallu attendre en 1965 pour qu'un effort soit fait pour voir si ce fossile existait... par des gens qui cherchaient autre chose. C'est la période où on lance les premiers satellites et on a des problèmes de communication avec ceux-ci. Je travaillais alors moi-même à la NASA à ce moment-là et je me souviens qu'on perdait le contact avec les satellites; on se demandait quel type de rayonnement il faudrait émettre pour garder le contact. Et les ingénieurs ont décidé d'utiliser un rayonnement millimétrique pour retracer des satellites. Ils ont retrouvé les satellites et mieux encore, même quand il n'y avait pas de sa-



tellites, il y avait toujours une espèce de friture qui venait dans l'antenne et, en analysant cette friture, ils ont découvert que c'était le rayonnement qui remplit tout l'Univers, prédit par Gamov. Le fait qu'une théorie puisse prévoir quelque chose, que cette chose soit observée comme on l'a prévu, ça lui donne une très grande crédibilité.

Je mentionnerai ici l'arc-en-ciel du rayonnement électromagnétique, toutes les longueurs d'ondes qui sont émises, tous les différents types de photons qui existent. Les longueurs d'ondes vont de cent mètres (ce sont les ondes radio); elles passent par le micron, c'est-à-dire la lumière visible (notre œil ne voit que dans ceci), puis il y a les rayons X et gamma de très haute énergie. Finalement, vous avez les ondes millimétriques. Il y a tous ces objets qui émettent des ondes radio : les galaxies, les étoiles, les planètes, ça fait une grande quantité. En ce qui concerne les rayons X et gamma, ils sont émis par des objets très violents dans l'Univers : les explosions d'étoiles, les collisions, les trous noirs, tout ce qui émet énormément de rayonnement se trouve là. Le rayonnement fossile, c'est par contre la principale source de rayonnement, c'est là qu'il y a plus de photons; dans le ciel, neuf cent quatre-vingt-dix-neuf photons sur mille viennent du début de l'Univers, et toutes les étoiles et toutes les galaxies réunies n'ont ajouté pas plus de un photon sur mille à cet ensemble.

Ce qu'ont découvert Penzias et Wilson en 1965, c'est l'existence de ce rayonnement dans le domaine du millimètre, prévue par Gamov, qui s'est avérée comme un test de la réalité de cette idée que l'Univers a été extrêmement chaud et extrêmement dense. S'il était plus lumineux, c'est qu'à un moment donné il devait y avoir une énorme quantité de rayonnement. Ce rayonnement a depuis ce temps été transformé par le refroidissement de l'Univers mais il n'a pas été détruit. Il a été simplement transformé... Gamov a conclu qu'il a dû être transformé en quelque chose de beaucoup plus faible, de non visible à nos yeux, mais de

détectable avec des radiotélescopes. Gamov fait ces prédictions en 1948. Et ce n'est qu'en 1965 qu'on a eu la preuve que l'Univers a autrefois été beaucoup plus chaud et beaucoup plus lumineux. Exactement comme un préhistorien quand il attrape un silex ou une pierre taillée, il l'observe sous toutes ses coutures pour en tirer le plus grand nombre de renseignements possibles. De la même façon, depuis 1965, ce rayonnement, ce fossile, c'est un des objets d'étude les plus intensément étudiés de toute l'astronomie. On a fait des quantités de télescopes de plus en plus puissants et, en 1990, les Américains ont envoyé un satellite dans l'espace dans le seul but d'obtenir le plus grand nombre de renseignements possible sur cette image en direct qui nous vient du début de l'Univers. Ce satellite s'appelle COBE, pour *Cosmic Background Explorer* (*Cosmic Background*, c'est le rayonnement fossile, et *Explorer* se traduit par explorateur). Grâce à celui-ci, on a pu tester l'hypothèse de Gamov avec la plus grande précision. L'idée que ce rayonnement vient de l'Univers qui était très chaud et très dense et très lumineux est maintenant une idée crédible au-delà de tout doute possible.

Ce qui est intéressant, c'est que ce rayonnement nous confirme le fait que l'Univers était très chaud, très dense, très lumineux, mais aussi totalement désorganisé. Une des caractéristiques de notre Univers contemporain, c'est la quantité extraordinaire et la richesse des formes et des structures qu'il contient. Il y a de la structure à toutes les échelles. De très grandes structures qui sont des galaxies spirales à l'échelle de cent mille années de lumière. À une échelle plus petite, les étoiles et les planètes, puis à des échelles encore plus petites, les météorites, les comètes, et tous les objets du système solaire. À une échelle encore plus petite, à notre échelle, il y a toute la variété de la vie sur la Terre : les plantes, les animaux, à partir des séquoias géants jusqu'aux insectes minuscules, toujours il y a de la structure. À une échelle encore plus petite, il y a des molécules géantes, les protéines par exemple, et puis

en dessous, les molécules simples, molécules d'eau, de gaz carbonique. Et à une échelle encore plus petite, il y a les atomes, et puis encore plus petite, les particules élémentaires, les électrons, les photons... Il y a de la structure à toutes les échelles imaginables. Ces structures étaient absentes dans l'Univers d'il y a quinze milliards d'années. Il n'y avait pas de structure à toutes ces échelles. Il n'y avait pas de galaxies, pas d'étoiles, pas de planètes, pas de satellites, pas de comètes, pas d'êtres vivants, pas de plantes évidemment, pas d'animaux, pas de molécules géantes, pas de molécules simples, pas de molécules d'eau, pas même d'atomes : carbone, azote, oxygène, fer, plomb. Tout ça n'existait pas.

Il y avait ce qu'on peut appeler une purée de particules élémentaires, pour employer encore une comparaison culinaire. Il n'y avait pas de grumeaux; c'était une purée indifférenciée, homogène, chaude et lumineuse de particules élémentaires, des électrons, des photons, des neutrinos, des quarks, toutes ces particules que vous trouvez à la dernière page des bons livres de physique. Voilà ce qu'était l'Univers d'il y a quinze milliards d'années. L'Univers d'aujourd'hui est évidemment extrêmement différent de tout cela. L'histoire de l'Univers, nous pouvons la raconter en expliquant comment on est passé de l'un à l'autre. Comment l'Univers d'il y a quinze milliards d'années a engendré progressivement des structures toujours plus complexes en passant par des noyaux, des atomes, des molécules, des cellules vivantes, des organismes, jusqu'à atteindre, sur notre planète, en tout cas, le plus haut niveau d'organisation, le cerveau humain, qui est en mesure de poser des questions, par exemple de se demander quel était le lointain passé de l'Univers.

L'histoire de l'Univers c'est un peu aussi dans ce sens notre propre histoire, racontant comment à partir de cette soupe de particules élémentaires, nous sommes progressivement venus au monde en passant par des étapes qui impliquent des atomes, des molécules, des cellules, des

bactéries, des vers marins, des poissons, des amphibiens, des reptiles, des mammifères, des singes, des êtres humains. Tout ceci résume l'histoire de l'Univers, ce qu'on appelle la croissance de la complexité. C'est très important, les étoiles y jouent un rôle fondamental parce qu'elles sont responsables de la présence d'atomes. Nous sommes constitués d'atomes, ces atomes n'existaient pas il y a quinze milliards d'années. Nous devons notre existence au fait que les étoiles sont des fabriques d'atomes; les étoiles ont engendré les atomes, cela nous met dans une optique que les étoiles ne sont pas seulement quelque chose de beau à voir, ni quelque chose d'intéressant à étudier, mais elles sont aussi un élément de notre généalogie, de notre passé.

Dans cette métamorphose de l'Univers à partir de cette purée initiale très chaude, très dense et très lumineuse, à mesure que l'Univers se refroidissait (il était à des milliards de milliards de milliards de degrés il y a quinze milliards d'années, aujourd'hui il est à trois degrés absolus, c'est-à-dire à  $-270^{\circ}\text{C}$ , c'est la température moyenne dans l'espace, et l'Univers continue de se refroidir d'ailleurs, très lentement), tout au long de ce refroidissement, la matière s'est organisée progressivement grâce aux forces que nous appelons les forces de la nature : la force de gravité, qui fait les étoiles et les galaxies, la force nucléaire, celle qui fait les noyaux d'atomes, et la force électromagnétique, qui fait les atomes, les molécules et d'ailleurs toutes les structures vivantes jusqu'aux baleines, aux séquoias, et par laquelle nous-mêmes sommes tous gouvernés, et la chimie, qui est le domaine d'application de la force électromagnétique.

Une structure organisée de notre présent, le corps humain est fait des mêmes particules qui existaient il y a quinze milliards d'années. Nous sommes faits d'électrons et de quarks, qui sont des particules élémentaires qui ressemblent à l'électron et qu'on a découvertes il n'y a pas plus d'une vingtaine d'années. C'est la *brique* qui retient

l'édifice. Les protons sont faits de quarks, ces particules élémentaires qui sont l'équivalent des lettres de l'alphabet à partir desquelles on fait des mots, des phrases, etc. Nous sommes composés de particules élémentaires. Nous sommes faits, en dernière analyse d'électrons et de quarks; ça prend beaucoup d'électrons et de quarks pour faire un être humain, à peu près cent milliards de milliards de milliards. Chacun d'entre nous est constitué d'environ 100 000 000 000 000 000 000 000 000 d'électrons et de quarks. Ça varie un peu avec votre poids, mais pas beaucoup. Ces cent milliards de milliards de milliards de quarks et d'électrons existaient dans cette purée que l'on a observée grâce au rayonnement fossile. Ils existaient et, on a toutes les raisons de le penser, ces particules sont les mêmes que celles qui existent aujourd'hui... Vos cent milliards de milliards de milliards de particules étaient là, réparties dans cette purée dans un état extraordinairement différent de celui dans lequel elles sont aujourd'hui. La différence, c'est qu'à cette période elles vivaient chacune indépendamment, librement, une vie de particule élémentaire, si on peut appeler ça une vie; c'est à peu près le comportement d'une boule de billard sur une table de billard. Une particule élémentaire, tout ce que ça peut faire, c'est d'aller droit devant soi jusqu'au moment où ça frappe une autre boule, et c'est dévié, et ça se promène en zig-zaguant. Par contre, dans votre corps, dans votre cerveau, quand vous êtes en train de faire un acte unifié (comme réfléchir) cela veut dire que les cent milliards de milliards de milliards de milliards de particules, au lieu d'avoir une vie indépendante, sont toutes intégrées dans un organisme extraordinairement sophistiqué qu'est votre corps, qui a la possibilité de vivre, de prendre de l'énergie, de s'accommoder de la température qu'il fait, de se nourrir, de digérer, *et surtout* de réfléchir.

Réfléchir, ça veut dire que les quelque quarante mille milliards (40 000 000 000 000) de neurones que vous avez dans votre tête sont tous en opération comme un

gigantesque ordinateur (c'est bien plus compliqué que le plus compliqué de tous les ordinateurs), et ça prend l'action combinée de tous ces neurones pour y arriver. Ces neurones eux-mêmes sont composés de molécules géantes qui sont elles-mêmes composées d'atomes, qui sont faits de quarks. La différence, c'est que dans votre corps, quand vous faites une action, quand par exemple vous fermez les yeux et que vous dites : «J'existe», ce simple geste demande l'entrée en opération de ces cent milliards de milliards de milliards de particules qui jouent chacune un rôle précis. Il est fondamental qu'elles le jouent et qu'elle le jouent bien, sinon vous ne serez pas en mesure de réfléchir. C'est ça, la différence entre les deux, c'est que dans le passé très lointain, ces particules avaient un comportement complètement dissocié; elles vivaient chacune sa vie et c'était une vie très simple. Aujourd'hui, quinze milliards d'années plus tard, dans votre corps, elles ont un comportement intégré par le fait qu'elles jouent chacune un rôle bien défini, qui fait que vous puissiez arriver à faire ce prodige extraordinaire qui n'avait pas été fait dans l'Univers lointain. Je crois qu'il est relativement récent que nous ayons cette possibilité de prendre conscience de notre existence, de dire : «J'existe», d'ouvrir les yeux et de dire : «Le monde existe autour de moi.»

C'est ça l'histoire de l'Univers, l'histoire qui nous dit comment ça s'est organisé. Et cette histoire, elle fait intervenir des étoiles, des planètes, des galaxies, tout ce que nous trouvons dans le ciel. Dans cette histoire, les étoiles jouent un rôle fondamental. Nous allons maintenant voir comment elles naissent. Les étoiles naissent parce que de grandes masses de gaz, de poussière opaque, s'effondrent sur elles-mêmes sous la force de gravité. Passons à l'âge adulte et parlons de notre Soleil. C'est une étoile qui est à peu près à mi-vie; elle a à peu près quatre milliards cinq cent millions d'années; elle va vivre encore environ cinq milliards d'années. Et sa vie consiste en ceci : le Soleil s'est formé par l'effondrement de gaz et, grâce à cet

effondrement, il est très chaud. Le centre du Soleil est de quinze à dix-sept millions de degrés. Et, à cette température, il se produit des réactions nucléaires, semblables à celles qui se passent dans une bombe H, sauf qu'il n'y a pas d'explosion; les réactions se produisent de façon continue. Ces réactions, c'est ceci : de l'hydrogène, quatre atomes d'hydrogène, quatre protons, plus exactement, se combinent pour former un noyau d'hélium. Vous avez un nouvel atome, l'hélium, qui est formé à partir d'un atome plus léger, l'hydrogène.

C'est ça, la vie des étoiles, c'est de fabriquer des atomes toujours plus lourds à partir d'atomes plus légers et, en fabriquant ces atomes, elles libèrent de l'énergie; cette énergie dans les étoiles est libérée d'une façon non pas catastrophique comme dans une bombe, mais d'une façon continue, ce qui fait que tout au long de sa vie, l'étoile produit une moisson d'atomes. Voyons ce que sera l'avenir du Soleil. Notre Soleil est une toute petite étoile. Elle est de toute petite dimension par rapport à une autre étoile, une rouge géante du nom d'Aldébaran, qu'on voit très bien à l'œil nu, et Antarès, une autre géante rouge, de la constellation du Scorpion, qu'on voit tout l'été un peu au-dessus de l'horizon sud. Eh bien! le Soleil, dans cinq milliards d'années quand il aura brûlé son hydrogène, transformé son hydrogène en hélium, va ensuite utiliser cet hélium pour faire du carbone et de l'oxygène. C'est à cette période que vont se faire les atomes fondamentaux de la vie : carbone, azote, oxygène, et aussi d'autres atomes comme le soufre, le phosphore. À cette période, le Soleil sera très grand, très rouge, et il couvrira une très grande région du ciel; la température à la surface de la Terre sera si élevée qu'elle se sera volatilisée. Donc nos descendants, dans cinq milliards d'années, auront intérêt à se déplacer un peu, peut-être à aller coloniser les satellites de Saturne et de Jupiter, qui devraient être habitables à cette période. Antarès, c'est une étoile qui fabrique du carbone et de l'oxygène.

Nous passons maintenant à l'étape de la mort des étoiles. Lorsqu'elles meurent, elles éjectent dans l'espace toute la matière dont elles sont constituées. Tous les atomes nouveaux qui ont été créés dans l'étoile sont rejetés dans l'espace pour ensuite servir à former d'autres étoiles, peut-être des planètes, des biosphères. C'est l'histoire de notre propre système solaire. Il a été constitué à partir de nuages de matière interstellaire qui contenaient déjà un très grand nombre d'atomes, lesquels avaient été fabriqués par des étoiles qui ont vécu avant la naissance du Soleil. Elles ont laissé des débris d'étoiles, des lambeaux de matière qui continuent à se répandre dans l'espace. Ce qui est important pour nous par rapport à notre histoire, c'est que dans ces lambeaux de matière, il y a beaucoup d'atomes nouveaux, fabriqués par l'étoile morte : carbone, azote, oxygène, fer, plomb, cuivre, argent, etc. Tous les éléments de la table de Mendeleïev. Dans l'espace, il va se produire une chimie extrêmement importante, qui va amener la constitution de structures encore plus complexes que celles qu'on a vues.

Grâce à la radioastronomie, à l'astronomie infrarouge, nous savons qu'il y a beaucoup de molécules dans l'espace, que ces molécules se forment par la rencontre de ces atomes qui avaient été constitués dans le cœur de l'étoile et qui ont été éjectés à la mort de celle-ci, qui se répandent dans l'espace, et qui constituent progressivement des structures toujours plus complexes. Quand la Terre est née il y a quatre milliards cinq cent millions d'années, elle était une boule de lave incandescente, totalement stérile, et il n'y avait pas de vie sur la Terre. Pourtant, un milliard d'années plus tard, il y avait déjà dans l'océan, dans l'eau, un très grand nombre de molécules qui se sont constituées de la même façon par une rencontre d'atomes. Un beau jour, on a vu apparaître la molécule de la vie, la molécule d'ADN (acide désoxyribonucléique) qui est une molécule de dimensions gigantesques. La molécule d'ADN, c'est cette double hélice qui fait une espèce d'escalier et



cette molécule, si on la continuait à l'échelle, elle se poursuivrait de Sherbrooke à Montréal, probablement. Une molécule d'ADN contient des milliards d'atomes, et nous avons dans chacune de nos cellules des molécules d'ADN qui sont les molécules de notre identité; elles rendent compte du fait que toutes les fonctions de la vie peuvent se produire. Il y a encore une question simple et intéressante que les Romains se posaient déjà : «Comment se fait-il que, quand je mange du poulet, il ne me pousse pas des ailes? Comment mon corps, mon estomac, mon intestin savent-ils qu'avec une aile de poulet, ils doivent faire quelque chose qui me ressemble?»

En fait, la réponse à cette question, nous ne la connaissons que depuis 1948. Trois chimistes, Crick, Watson et Wilkins, ont découvert l'existence de cette molécule d'ADN, qui joue un peu le rôle des plans d'un architecte dans une usine. On peut se représenter les cellules de notre corps comme une usine complète avec un architecte, un coffre-fort, des plans, des ouvriers, des ingénieurs, des ateliers de fabrication, et les éléments que nous allons manger sont emmenés dans les cellules et ensuite les ingénieurs vont dans le coffre-fort chercher les plans, regardent ce qu'il faut faire et reconstituent le corps un peu comme les briques sont amenées à l'usine, puis placées dans le mode prévu par l'architecte. L'équivalent des plans, ce sont les molécules d'ADN qui sont les gènes présents dans chacune de nos cellules. Une molécule comme celle-là contient autant d'information que 50 dictionnaires Larousse grand format. Nous en avons dans chacune de nos cellules, ce qui fait que notre corps peut continuer à être ce que nous sommes. À partir du moment où cette molécule est apparue, (et on est loin de comprendre comment elle est apparue dans l'océan primitif) à partir de là, la vie a pu apparaître dans toutes ses extraordinaires manifestations. Elles ont pu être rendues possibles grâce à l'apparition de cette molécule il y a trois milliards cinq cent millions d'années.

J'ai essayé de vous montrer comment on est passé du chaos initial à l'état contemporain, en passant par le rôle fondamental des étoiles dans la création des atomes. Grâce aux étoiles, nous avons des atomes, des molécules géantes, de l'ADN, de la vie. En définitive, l'histoire de l'Univers, c'est l'histoire de l'organisation de la matière qui fait que nous sommes là aujourd'hui. Vous voyez comment les découvertes de la science contemporaine relient notre présence ici aujourd'hui à des événements qui ont eu lieu dans l'espace : des galaxies, des étoiles qui sont nées, qui ont vécu et qui sont mortes. Cela prend évidemment beaucoup, beaucoup d'espace. Maintenant vous comprenez mieux le sens de la question : «Pourquoi l'Univers est-il si grand?» Ce n'est pas un luxe que l'Univers soit grand. Aussi longtemps qu'on a pensé que l'Univers se contentait de nous héberger, il nous suffisait d'avoir un Univers petit. Mais à partir du moment où nous savons qu'il nous engendre, c'est-à-dire qu'il crée toutes les structures et les infrastructures de la conscience que sont les atomes, les molécules, les cellules, ça prend un très grand Univers puisqu'il faut des galaxies, des étoiles, etc., pour arriver à créer ces atomes, ces molécules, ces cellules. Finalement, vous voyez maintenant la relation de cette dimension de l'espace. On aurait pu dire à Pascal : «Tu n'as pas vraiment de raison d'être effrayé de l'immensité de l'espace; s'il n'était pas aussi immense, tu ne serais pas ici en train de t'enivrer.»

Hubert Reeves  
*CNRS Paris*

## BIBLIOGRAPHIE

Reeves, Hubert, *L'heure de s'enivrer : l'univers a-t-il un sens?* Paris : Seuil, 1986.

Reeves, Hubert, *Malicorne : réflexion d'un observateur de la nature.* Paris : Seuil, 1990.

Reeves, Hubert, *Patience dans l'azur, l'évolution cosmique.* Québec : Québec science éditeur, 1981.

Reeves, Hubert, *Poussières d'étoiles.* Paris : Seuil, 1984.